

УДК 556.314

ХИМИЧЕСКИЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЮЖНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Лепокурова Олеся Евгеньевна^{1,2},
LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Иванова Ирина Сергеевна^{2,3},
IvanovaIS_1986@mail.ru

Шварцев Степан Львович^{1,2},
tomsk@ipgg.sbras.ru

Колубаева Юлия Викторовна¹,
kolubaeva@inbox.ru

Наливайко Нина Григорьевна²,
biologistnqn@yandex.ru

¹ Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 4

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

³ Институт экологических проблем Севера УрО РАН,
Россия, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 23

Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки качества питьевых вод, потребляемых населением, в условиях децентрализованного водоснабжения.

Цель работы заключается в изучении химического и микробиологического состава подземных вод, формирующихся в естественных природных условиях.

Методы исследования. Химический и микробиологический состав вод исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории (ТПУ), зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России. Для проведения полного химического анализа использовались традиционные методы. Микробиологический анализ производили после отбора проб, как правило, в течение суток, при этом пробы хранились в сумке-холодильнике. Для выявления микроорганизмов использовали жидкие и твердые селективные питательные среды. Микрокомпонентный состав определялся при помощи масс-спектрометрического метода с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan 6000 (Perkin Elmer) в лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (Национальный центр научных исследований, Франция).

Результаты. Данные химического и микробиологического состава питьевых подземных вод четвертичных, неогеновых, палеогеновых и меловых отложений показали, что воды являются в эпидемиологическом отношении безопасными (кишечная палочка не обнаружена), в то время как по химическому составу они чаще всего непригодны для питьевого водоснабжения по таким компонентам, как Fe, Mn, C_{org} , Si, частично OЖ, NO_2^- , NH_4^+ , из микрокомпонентов – Ba, редко B и Li. Превышения эти отражают естественный природный фон территории и характерны для всего региона. Микрофлора отражает геохимическую среду, богатую органикой, но обедненную минеральными веществами.

Ключевые слова:

Питьевые подземные воды, децентрализованное водоснабжение, Томская область, химический и микробиологический состав, микроэлементы.

Введение

Изучением состояния подземных вод в естественных условиях централизованного водоснабжения Томской области занимается АО «Томскгеомониторинг» и ежегодно отчитывается в информационных бюллетенях (*последний бюллетень* [1]). Данные воды, при подаче к потребителю, проходят определенную водоподготовку. Однако только 65 % населения Томской области обеспечено доброкачественной питьевой водой. Около 14 % населения Томской области пьет недоброкачественную

питьевую воду и примерно 21 % – условно доброкачественную, поскольку пользуется подземными водами децентрализованных источников водоснабжения без предварительной подготовки. Все это и обуславливает необходимость изучения химического, а также микробиологического состава подземных вод децентрализованного водоснабжения некоторых районов Томской области.

По подземным водам области накоплен, обобщен и проанализирован обширный материал, который освещен в статьях, научных отчетах, моно-

графиях и диссертациях множества исследователей, среди которых сотрудники ТПУ, ТГУ, ТГАСУ, ТФ ИНГТ СО РАН, ТФ СНИИГГиМС и, конечно, АО «Томскгеомониторинг». Первые исследования по питьевым водам региона были обобщены в работе [2]. Благодаря сотрудникам кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ТПУ в 60-е годы прошлого века были дан прогноз наличия Томского месторождения подземных вод, одни из первооткрывателей которого были П.А. Удодов и Н.М. Рассказов. Большая работа была проделана сотрудниками Проблемной гидрогеохимической лаборатории ТПУ. Оценке качества подземных вод Томского месторождения были посвящены работы Н.А. Ермашовой, С.Л. Шварцева, Ю.К. Смоленцева, Г.М. Рогова, А.С. Скогорева, Д.С. Покровского, В.В. Быковой, А.Д. Назарова, Ю.Г. Копыловой, В.К. Попова, В.А. Зуева, Н.Г. Наливайко, О.Г. Савичева, Е.М. Дутовой, Л.С. Маныловой, Н.М. Шварцевой, О.В. Колоколовой и др. Коллективом авторов (Л.В. Сериковым, Л.Н. Шиян, Е.А. Тропиной, Н.В. Видяйкиной) предложены методы улучшения качества питьевых подземных вод. Н.В. Кончаковой проведена санитарно-гигиеническая типизация подземных вод, используемых в питьевых целях в Томской области, и показано их территориальное развитие. Коллективом авторов в составе О.Д. Лукашевич, Е.П. Янкович, Н.А. Осиповой, В.А. Лыготина, К.С. Янкович приводятся результаты оценки риска для здоровья населения, обусловленного потреблением подземной воды без предварительной подготовки. Геоэкологические исследования на этой территории нашли

отражение в работах А.М. Адама, А.В. Вана, А.В. Мананкова, В.Е. Ольховатенко, В.П. Парначева, Л.П. Рихванова, Н.А. Рослякова, Е.Г. Язикова, Е.Ю. Пасечник и других авторов. Из-за большого числа работ мы ссылаемся лишь на некоторые из самых значимых последних публикаций [3–11].

Авторами данной работы в ходе собственных полевых исследований за последние 5 лет был собран достаточно обширный массив гидрогеохимических данных по питьевым скважинам и колодцам децентрализованного водоснабжения. При этом основной объем опробования пришелся на южную и центральную части области, что связано с отсутствием транспортной инфраструктуры в северных районах в летний период. Часть материала уже неоднократно была опубликована в печати [12–16].

Всего было отобрано 128 проб воды из 81 скважины и 4 колодцев, имеющих глубину от 10 до 740 м, в основном до 200 м. Схема расположения точек отбора проб подземных вод представлена на рис. 1. Отбор проб подземных вод производился непосредственно на устье скважин после откачки застоявшейся воды в обсадных трубах. В каждой точке гидрогеохимического опробования *in situ* определялись параметры быстроизменяющихся компонентов, таких как Eh, pH, температура, содержание ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Часть проб фильтровалась при помощи фильтров 0,45 мкм (Millipore Millex-HP) и консервировалась азотной кислотой для более детального изучения в стационарных лабораториях. Химический и микробиологический

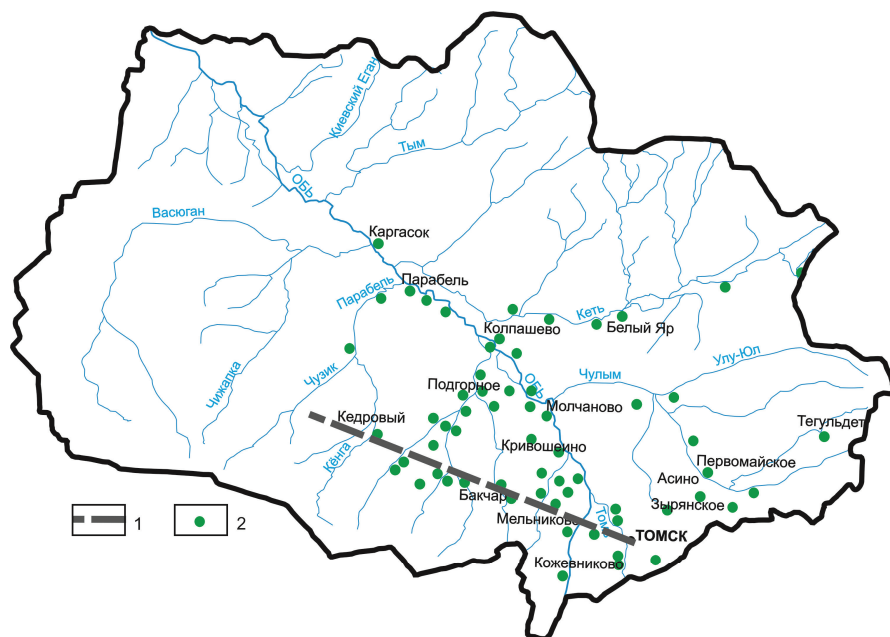


Рис. 1. Схема расположения пунктов опробования подземных вод на территории Томской области: 1 – линия гидрогеохимического разреза; 2 – пункты опробования

Fig. 1. Scheme of arrangement for places of testing groundwater in the territory of Tomsk region: 1 is the line of hydrogeological section; 2 are the testing places

составы вод исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории (ТПУ), зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России. Для проведения полного химического анализа использовались традиционные методы. Микробиологический анализ производили после отбора проб, как правило, без стадии хранения или в течение суток, при этом пробы хранились в сумке-холодильнике. Для выявления микроорганизмов использовали жидкие и твердые селективные питательные среды. Микрокомпонентный состав определялся при помощи масс-спектрометрического метода с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan 6000 (Perkin Elmer) в лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (Национальный центр научных исследований, Франция).

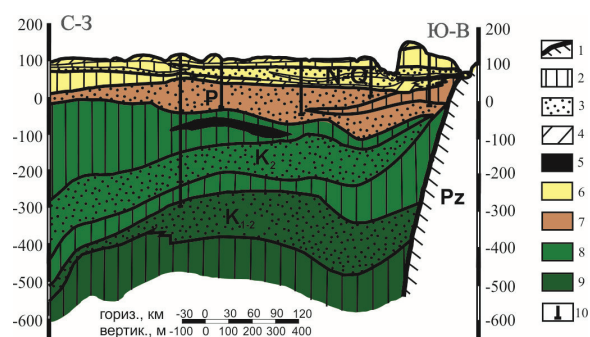


Рис. 2. Схематический гидрогеохимический профиль. Составлен на основе геологического разреза [17]: 1 – фундамент; 2 – глина; 3 – песок; 4 – суглинок; 5 – железная руда; 6–9 – площади распространения вод с минерализацией (в г/л) различного ионно-солевого состава: 6 – 0,1–0,6 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, pH 6,3–7,2); 7 – 0,2–0,9 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$, pH 6,4–7,5); 8 – 0,4–1,2 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{-Na}$, pH 6,9–8,6); 9 – 1,4–2,7 ($\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ и Cl-Na , pH 7,3–8,3); 10 – скважины

Fig. 2. Schematic hydrogeochemical profile, made on the basis of geological section [17]: 1 is the basement; 2 is the clay; 3 is the sand; 4 is the loam; 5 is the iron ore; (6–9) are the areas of distribution of water with mineralization (in g/l) of different salt ion composition: 6 – 0,1–0,6 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ and $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, pH 6,3–7,2); 7 – 0,2–0,9 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$, pH 6,4 – 7,5); 8 – 0,4–1,2 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ and $\text{HCO}_3\text{-Na}$, pH 6,9–8,6); 9 – 1,4–2,7 ($\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ and Cl-Na , pH 7,3–8,3); 10 are the wells

Район исследований представляет равнинную сильно заболоченную территорию, сложенную сверху неоген-четвертичными отложениями мощностью до 100 м (рис. 2). Самый верх разреза этих отложений на большей части территории представлен слоями торфа мощностью до 6–8 м. Ниже неоген-четвертичных отложений залегают песчано-глинистые осадки палеогена мощностью 200–400 м, подстилаемые, в свою очередь, отложениями верхнего мела мощностью до 600 м. В пределах этой толщи развиты два водоносных комплекса: эоцен-четвертичный и эоцен-верхнемеловой, разделенные на большей части территории

мощным водоупором, представленным эоценовыми глинами. Каждый водоносный комплекс делится на несколько горизонтов, важнейшими среди которых являются неоген-четвертичный, палеогеновый и верхнемеловой. Все, кроме первого водоносного горизонта, содержат напорные воды.

Химический состав питьевых подземных вод

Подземные воды неоген-четвертичных отложений. Всего отобрана 21 проба на глубинах от 10 до 30 м в колодцах и частных скважинах. Из-за большого объема фактического материала в табл. 1 приведены лишь типичные химические анализы питьевых вод. По основным физико-химическим свойствам подземные воды являются пресными (минерализация в основном от 130 до 570 мг/л, за редким исключением, о котором речь пойдет ниже), гидрокарбонатными, преимущественно кальциевыми или кальциево-магниевыми, слабосильными и околонеутральными (6,3–7,2). Ионы SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и K^+ имеют сугубо подчиненное значение в составе солей.

Содержания $\text{C}_{\text{орг}}$ в исследуемых водах изменяются в диапазоне от 1,0 до 16 мг/л и в среднем составляют 5,1 мг/л. Они представлены в основном веществами гумусового ряда (фульво- и гуминовыми кислотами). Содержание Si варьируют в широком пределе от 2 мг/л до 16 мг/л, как и величина общей жесткости (ОЖ) – от 1 до 7 мг-экв/л.

Все отобранные воды неоген-четвертичных отложений обогащены Fe, максимальное содержания которого 15,5 мг/л (по другим данным до 30–40 мг/л [18], что превышает предельно допустимые концентрации для хозяйственно-питьевых целей ($\text{ПДК}_{\text{хл}}=0,3$ мг/л) [19] примерно в 50 раз. Средняя концентрация железа составляет 6,7 мг/л, что примерно в 25 раз превышает $\text{ПДК}_{\text{хл}}$.

Благодаря сходным химическим свойствам Mn, как и Fe, весьма распространен в подземных водах. Максимальное содержание достигает 1,6 мг/л, что в 16 раз превышает $\text{ПДК}_{\text{хл}}$ (0,1). Средняя концентрация составляет 0,4 мг/л, что в 3 раза превышает $\text{ПДК}_{\text{хл}}$.

Описанные выше превышения отражают естественный природный фон территории и характерны для всего региона.

На общем фоне подземных вод, формирующихся в естественных условиях, выделяются явно *техногенно-трансформированные* подземные воды [20], имеющие минерализацию 0,6–1,0 и более г/л (в табл. 1 выделены курсивом). Всего встречено 4 пробы таких вод в двух частных скважинах села Инкино и в колодцах деревень Нельмач и Новоюгино (Каргасокский и Парабельский районы). В водах наблюдается одновременное присутствие целого ряда макрокомпонентов с повышенными и даже очень высокими концентрациями. В анионно-катионном составе подземных вод преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} , но по сравнению с теми водами, которые формируются в естественных природных

Таблица 1. Химический состав некоторых питьевых подземных вод децентрализованного водоснабжения, мг/л

Table 1. Chemical composition of some drinking groundwater of the decentralized water supply, ppm

№	Населенный пункт Place	H*	pH	Σ*	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe _{общ}	Mn	Si	C _{орг}	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
		м/м	–	мг/л (mg/l)															
Воды неоген-четвертичных отложений/Water of the Neogene-Quaternary sediments																			
1	Кенга/Kenga	23	7,2	410	305	2,1	2	82	11	7	0,9	6,0	0,42	8,3	2,8	2,5	0,005	1,4	0,18
2	Белояровка/Beloyarovka	20	7,1	393	293	1,2	1	76	13	9	1,0	9,4	0,18	12,5	2,7	0,8	0,003	0,5	0,20
3	Юдино/Yudino	20	6,7	228	171	4,2	1	38	8	7	1,2	9,8	0,18	15,6	3,8	1,1	0,003	0,5	0,55
4	Палочка/Palochka	10	6,8	168	125	5,9	1	22	8	5	0,9	7,4	0,13	13,7	9,6	0,7	0,009	0,2	0,90
15	Улу-Юл/Ulu-Yul	30	6,9	180	122	8,9	6	32	5	6	1,0	4,6	0,34	9,5	3,0	0,2	0,008	0,1	0,07
21	Нельмач/Nelmach	14	6,8	381	159	33,1	71	86	12	19	0,7	1,0	0,18	9,0	9,0	0,2	0,080	59,0	0,08
12	Инкино/Inkino	20	7,0	968	335	81,7	215	288	15	30	3,1	8,2	0,33	2,4	7,4	0,7	1,820	230	0,05
17	Инкино/Inkino	24	6,8	1010	402	130	153	280	26	16	3,3	1,6	0,11	2,8	4,8	0,2	0,225	176	0,01
19	Новоюгино/Novoyugino	12	7,1	747	286	133	146	94	69	16	1,5	7,3	0,68	8,7	16,0	0,9	0,020	0,1	0,05
Воды палеогеновых отложений/Water of Paleogene sediments																			
31	Бакчар/Bakchar	51	7,3	527	403	2,6	1	94	16	10	1,2	4,1	0,49	8,1	2,8	1,4	0,003	1,8	0,29
36	Гореловка/Gorelovka	21	6,9	675	512	3,2	6	126	21	6	1,3	10,1	0,19	8,8	4,3	5,1	0,011	1,7	0,43
39	Восточное/Vostochnoe	50	7,1	638	488	2,6	1	114	16	15	1,4	5,3	0,14	10,6	4,9	4,5	0,011	0,6	0,22
45	Каргасок/Kargasok	150	6,8	532	403	3,0	1	96	16	11	1,6	5,5	0,08	14,5	5,6	4,5	0,005	0,6	0,21
46	Старица/Staritsa	96	6,9	469	305	1,7	44	66	15	38	1,6	6,7	0,16	13,5	3,1	2,0	0,014	2,6	0,18
48	Н. Чигара/N. Chigara	40	7,0	589	451	1,2	1	112	16	8	0,9	11,8	0,41	10,2	4,3	3,4	0,005	0,5	0,17
49	Инкино/Inkino	105	6,8	703	458	6,1	70	142	17	9	1,8	13,7	1,40	9,7	3,6	1,8	0,005	4,1	0,13
56	Подоба/Podoba	30	7,2	544	415	0,5	1	108	12	6	1,4	5,1	0,20	7,3	9,0	0,4	0,008	0,5	0,07
68	Тегульдэт/Teguldet	50	6,8	554	421	4,2	1	98	18	11	0,6	3,3	0,09	12,0	1,6	0,4	0,003	0,6	0,03
70	Б. Жирово/B. Zhirovo	14	7,0	622	458	6,9	11	120	16	9	1,0	8,9	0,05	7,1	2,8	0,1	0,002	0,6	0,03
100	Высокий Яр/Vysokiy Yar	25	6,9	657	475	6,0	19	124	22	9	1,6	5,0	0,96	10,5	8,1	0,8	0,050	0,1	0,06
Воды меловых отложений/Water of Cretaceous sediments																			
110	Бакчар/Bakchar	161	7,2	886	634	11,3	22	116	35	65	2,2	2,4	0,10	10,8	1,5	2,7	0,080	0,5	0,57
112	Поротниково/Porotnikovo	175	7,3	835	634	2,1	2	112	23	60	2,0	2,0	0,19	9,1	1,2	2,2	0,003	1,6	0,25
113	Плотниково/Plotnikovo	156	7,2	1062	744	2,4	51	126	40	95	2,7	2,3	0,13	10,1	2,0	5,3	0,011	5,3	0,04
123	Усть-Бакчар/Ust-Bakchar	130	7,0	871	525	2,2	115	126	24	76	2,1	5,8	0,19	13,9	4,3	3,0	0,005	3,3	0,12
126	Бакчар/Bakchar	273	8,0	416	231	8,1	58	7	4	105	2,5	0,3	0,01	6,6	7,5	0,8	0,020	0,1	0,45
125	Чажемто/Chazhemto	740	8,1	1409	405	0,4	515	20	6	454	1,1	0,1	–	4,3	3,4	1,0	0,002	1,8	0,15
108	Кенга/Kenga	380	8,1	2652	402	0,1	1267	46	21	900	6,0	0,3	0,04	7,5	1,0	3,3	0,005	5,1	0,14

Примечание: * – глубина; ** – минерализация вод; жирным шрифтом – превышения относительно ПДК_{хл}; курсивом – техногенно-трансформированные воды.

Note: * – depth; ** – water mineralization; exceedance relative to MPC is in bold; technogenic-transformed water is in italic.

условиях, наблюдается рост ионов Cl⁻ (до 215 мг/л), SO₄²⁻ (до 134 мг/л), Ca²⁺ (до 280 мг/л), Na⁺ (до 30 мг/л), NO₃⁻ (до 230 мг/л). В связи с увеличением кальция увеличивается и общая жесткость до 16 мг-экв/л. Особое внимание хотелось бы обратить на присутствие в повышенных количествах азотистых соединений. Наиболее всего это касается NO₃⁻, концентрации которого в данных водах 50–230 мг/л при ПДК_{хл} 45 мг/л.

Подземные воды палеогеновых отложений наиболее широко в Томске и Томской области используются, как централизованно, так и не централизованно, для питьевых целей. Было отобрано 82 пробы из питьевых скважин глубиной от 11 до 180 м. Воды являются пресными, но отличаются повышенной минерализацией (от 154 до 835 мг/л), характеризуются более высокими значениями pH (6,6–8,1). По химическому составу это гидрокарбонатные кальциевые воды. Содержания C_{орг} в исследуемых водах изменяются в диапазоне от 0,1 до

21,2 мг/л и в среднем составляют 5,0 мг/л. Увеличиваются концентрации Si от 3,7 до 22,0 мг/л. ОЖ меняется в широком пределе – от 0,9 до 10,1 мг-экв/л, но в целом наблюдается увеличение. Из азотистых соединений в концентрациях, превышающих ПДК_{хл} (2 мг/л), встречается NH₄⁺ – от 0,1 до 6,7 мг/л, при средних 2,2 мг/л.

Диапазон концентраций Fe шире – от 0,1 до 25,5 мг/л, но в среднем (6,1 мг/л) остается на том же уровне, что и у вышележащих вод. Содержание марганца также превышено, максимально равно 1,4 мг/л и в среднем такое же – 0,3 мг/л.

Подземные воды верхнемеловых отложений изучены в 18 пробах из 14 скважин глубиной от 130 до 300 м. По имеющимся данным они относятся к пресным или солоноватым (минерализация изменяется от 0,4 до 1,2 г/л), отличаются повышенной щелочностью (pH 6,9–8,6). Наблюдается смена состава вод от гидрокарбонатных кальциевых до гидрокарбонатных натриевых (содовых).

Соответственно, в содовых водах ОЖ резко падает до 0,3–5,7 мг-экв/л, в кальциевых – остается высокой – 7,5–10 мг-экв/л. В заметных количествах начинает появляться ион хлора – до 138 мг/л.

Содержание Fe в водах, наоборот, уменьшается почти в два раза – до 2,7 мг/л в среднем, но в целом остается высоким (0,2–10,3 мг/л). Содержание марганца в среднем уменьшается до 0,1 мг/л, т. е. стало на уровне ПДК_{хп}.

Концентрации $C_{орг}$ и Si остаются на том же уровне. Из азотистых соединений в концентрациях, превышающих ПДК_{хп}, встречается NH_4^+ – от 0,8 до 5,3 мг/л, при средних 2,4 мг/л.

Подземные воды нижне-верхнемеловых отложений (симановская и покурская свиты) представлены всего 7 пробами из четырех скважин (Кенга, Колпашево, Чажемто, Белый Яр), циркулируют на глубинах 300–2000 м, для питьевых целей используются редко. Воды солоноватые (0,8–2,7 г/л), наблюдается смена состава – от содовых до хлоридных натриевых. Соответственно, растут концентрации хлора и натрия. Величина ОЖ (0,4–4,0 мг-экв/л), $C_{орг}$ (0,1–3,4) и концентрации Si (4,3–7,5) резко уменьшаются. Азотистые соединения в повышенных количествах не встречались. До уровня ПДК_{хп}

уменьшается содержание Fe (от сотых долей до 0,5 мг/л), Mn встречается в незначительных концентрациях (0,01–0,04 мг/л).

Микрокомпонентный состав подземных вод

Всего изучено 57 проб (12 в водах неоген-четвертичных отложений, 41 – в палеогеновых, 4 – в меловых) по 48 элементам в каждой, наиболее показательные из которых представлены в табл. 2. Во всех водоносных горизонтах повышенными содержаниями относительно вод зоны гипергенеза [21] отличаются следующие компоненты: B, Sr, Ba, и, конечно, Fe, Mn, Si, о которых уже писали выше и здесь не будем останавливаться. Пониженными значениями характеризуются Al, Ti, V, Cr, Zr, Cd, Cs, Ce, Th. Такие элементы, как Ge, Y, Sn, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Bi, встречаются в сотых долях мкг/л и меньше.

Отдельно для водоносных горизонтов выявлены следующие особенности. В водах неоген-четвертичных отложений понижены концентрации следующих элементов (кроме уже отмеченных выше): Co, Ni, Cu, Ga, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, La, Pb, U. В водах палеогеновых отложений – Ga, Zr, Nb, Mo, Sn. При этом точно повышены концентрации Zn до 1,8 мг/л, V до

Таблица 2. Микрокомпонентный состав некоторых проб питьевых подземных вод децентрализованного водоснабжения, мкг/л
Table 2. Trace elements of some drinking groundwater of the decentralized water supply, ppb

№	Компонент/Component	Li	B	Al	Ti	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Mo	Sn	Sb	Cs	Ba	Pb
Среднее для зоны гипергенеза [21] Mean value for hypergenesis zone [21]		13	78	226	17	1,3	3,0	0,4	3,6	5,6	41	1,5	1,9	183	1,7	0,4	0,7	0,3	18,3	3
ПДК [19]/MPC [19]		30	500	500	–	100	50	100	100	1000	5000	50	100	7000	250	–	50	–	100	30
Воды неоген-четвертичных отложений/Water of the Neogene-Quaternary sediments																				
7	Белояровка/Beloyarovka	2,7	25	1,4	2,0	0,06	0,6	0,2	1,4	0,05	22,2	0,05	2,3	480	0,6	0,05	0,01	0,02	155	0,26
8	Юдино/Yudino	7,1	16	14,7	3,2	0,74	1,0	0,3	0,4	0,13	7,7	10,6	0,2	143	0,2	0,06	0,01	НПО	65	0,06
9	Палочка/Palochka	2,1	13	3,1	2,5	0,30	0,9	НПО	0,2	0,06	4,3	0,05	2,3	188	0,1	0,05	0,01	0,01	90	0,09
10	Улу-Юл/Ulu-Yul	4,8	17	1,6	1,9	0,12	0,7	НПО	0,2	0,05	14,9	0,08	0,8	165	0,1	0,06	0,02	0,02	64	0,08
13	Тегульдэт/Teguldet	–	37	9,7	2,7	0,07	0,2	0,1	0,3	1,32	5,3	0,24	3,1	518	0,1	0,04	0,02	0,05	134	0,98
12	Инкино/Inkino	–	492	20,6	3,5	0,12	0,8	0,3	НПО	0,67	14,4	0,21	9,5	3317	0,1	0,08	0,12	0,15	1200	0,47
17	Инкино/Inkino	–	37	222	5,7	2,12	1,0	0,5	3,3	1,93	6,7	2,80	0,9	286	0,4	НПО	0,11	0,02	61	0,81
Воды палеогеновых отложений/Water of Paleogene sediments																				
59	Гореловка/Gorelovka	7,4	139	1,5	2,3	0,28	0,7	НПО	1,1	0,1	182	9,62	0,4	935	0,0	0,05	0,02	0,02	189	0,03
75	Самусь/Samus	4,1	28	1,8	1,8	0,02	0,9	НПО	0,9	0,1	5,5	0,03	6,2	798	0,1	0,08	0,01	0,01	311	0,05
76	Итатка/Itatka	1,0	40	4,0	1,5	0,09	0,6	1,0	1,0	НПО	4,4	16,9	1,6	409	0,7	0,03	0,03	НПО	<1	0,13
78	Степановка/Stepanovka	–	16	4,2	2,4	1,23	0,9	0,1	0,3	0,2	6,1	0,99	0,9	157	0,1	0,04	0,05	0,05	49	0,21
87	Катайга/Katayga	–	6	14,1	4,1	0,36	2,2	0,3	3,1	1,0	8,6	0,06	5,4	125	0,2	0,22	0,35	0,04	117	1,08
90	Орловка/Orlovka	–	25	1,2	1,0	0,02	0,1	НПО	НПО	0,6	0,4	0,02	5,0	486	0,0	НПО	НПО	0,01	219	0,01
93	Кол. Гривы/Kol. Grivy	–	295	14,7	9,9	0,54	2,1	1,3	9,1	21,3	1472	1,33	5,2	1777	0,6	0,78	1,03	0,14	4026	1,96
95	Каргасок/Kargasok	–	39	93,1	4,9	0,29	0,9	0,8	0,5	2,0	12,3	10,33	1,7	66	2,1	0,74	0,31	0,13	164	2,22
96	Чигара/Chigara	–	315	37,9	7,1	11,3	2,8	3,0	11,8	48,4	1784	3,33	0,9	489	0,6	1,01	1,73	0,15	4609	6,75
98	Белый яр/Beliy yar	–	315	10,0	3,8	0,4	0,5	0,1	1,3	0,3	12,8	18,14	0,8	1627	0,2	0,22	0,15	0,03	318	1,10
99	Первомайское/Pervomayskoe	–	557	13,1	3,3	0,2	0,7	1,1	3,2	2,4	364	2,78	3,6	979	0,3	0,29	2,06	0,08	594	1,59
Воды меловых отложений/Water of Cretaceous sediments																				
116	Кенга/Kenga	31	2331	2,1	0,7	0,2	1,2	НПО	НПО	НПО	4,9	23,9	4,2	1322	1,6	0,03	0,03	0,04	196	0,04
117	Усть-Бакчар/Ust-Bakchar	6,0	108	3,3	2,5	0,1	0,9	0,6	7,8	НПО	7,3	0,8	4,3	1034	0,5	0,01	0,05	0,06	275	0,45
123	Усть-Бакчар/Ust-Bakchar	–	104	14,9	2,6	0,14	0,4	0,1	0,1	0,4	5,6	1,26	4,1	1073	0,1	0,02	0,05	0,07	301	0,86
125	Чажемто/Chazhemto	–	152	15,1	0,9	0,4	0,3	0,1	1,3	0,5	2,3	1,4	1,3	209	0,1	0,01	0,10	0,02	22	0,93

Примечание: НПО – ниже пределов обнаружения; жирным шрифтом – превышения относительно ПДК_{хп}; курсивом – техногенно-трансформированные воды.

Note: НПО (BDL) is below detection limits; exceedance relative to MPC is in bold; technogenic-transformed water is in italic.

11,3 мкг/л, Со до 3,0 мкг/л, Ni до 11,8 мкг/л, Sn до 1 мкг/л, Sb до 1,7 мкг/л, Ва до 4,6 мг/л, Pb до 6,7 (все для пробы из п. Н. Чигара). В водах меловых отложений в концентрациях выше среднего для зоны гипергенеза встречены также Li, As, Rb.

Для большинства подземных вод характерно превышение ПДК_{хн} по Ва. Особенно выделяются две пробы в скважинах сёл Коломинские Гривы и Чигара, где превышения ПДК_{хн} составляют 40–50 раз. В воду барий попадает в основном из природных источников – барийсодержащих минералов. В чистом виде в регионе они не отмечаются, вероятно, барий присутствует в изоморфной смеси

кальциевых минералов. В почвах региона данный элемент также присутствует в значительных концентрациях [22]. Попадая в воду, при отсутствии сульфатов, Ва способен к концентрированию [23].

Содержания В и Li превышают ПДК_{хн} лишь в единичных пробах.

Микрокомпонентный состав *техногенно-трансформированных* подземные вод определен в двух пробах (все в колодцах Инкино). Превышения определены по следующим компонентам (в мкг/л): В (492), Al (222), V (2,1), Sr (3317), Ва (1200). При этом Ва максимально превышает ПДК_{хн} (100) в 12 раз, а В – на уровне ПДК_{хн} (500).

Таблица 3. Групповой состав микроорганизмов в подземных питьевых водах Томской области

Table 3. Group structure of microorganisms in drinking groundwater of Tomsk region

№	Физиологические группы бактерий, кл/мл/Physiological groups of bacteria, kl/ml										Общее количество бактерий Total number of bacteria
	Психрофильные сапрофиты Psychrophilic saprophytes	Автохтонные сапрофиты Autochthonic saprophytes	Олиготрофы Oligotrophs	Нефтеотolerантные Petrotolerant	Гетеротрофные железокисляющие Heterotrophic iron-oxidizing	Толуолокисляющие Toluene Oxidation	Тионовые Thionobacteria	Сульфатвосстанавливающие Sulphate reducing	Бензопокисляющие Benzene oxidizing	Автотрофные аэробные железокисляющие Autotrophic aerobic iron-oxidizing	
	тыс. кл/мл (thous. cells/ml)				y.e. (standard units)		кл/мл (cells/ml)				тыс. кл/мл (thous. cells/ml)
Воды неоген-четвертичных отложений/Water of the Neogene-Quaternary sediments											
1	7,5	158,0	56,6	2,6	1800	0	0	100	100	0	226,7
2	17,4	510,0	43,2	3,3	1400	0	0	0	0	10	575,4
3	104,0	265,0	23,7	3,4	7000	0	10	0	0	0	616,4
4	8,4	52,0	98,0	79,0	0	0	100	10	0	100	237,6
Воды палеогеновых отложений/Water of Paleogene sediments											
31	72,0	25,0	21,0	24,0	0	250	10	0	170	0	142,4
36	42,0	162,0	120,4	6,0	940	0	0	0	0	0	331,3
38	136,0	105,0	126,6	3,8	1300	0	100	0	310	100	373,2
40	4,1	123,0	63,3	1,1	80	0	10	0	250	0	191,9
41	83,0	19,6	55,9	0,2	70	0	0	0	0	0	335,2
42	13,0	23,3	126,0	53,7	300	0	0	0	0	10	426,5
45	210,0	171,0	21,2	16,8	0	0	0	0	160	100	761,5
46	48,0	33,6	42,4	9,0	1250	0	0	0	0	0	134,3
49	19,0	32,5	44,4	1,7	3700	0	0	0	220	0	101,5
50	135,0	68,8	40,6	15,0	360	0	0	0	240	0	260,0
51	134,7	61,5	71,5	6,3	5200	0	0	0	240	0	279,4
52	67,4	110,0	38,1	10,5	480	0	0	0	280	100	226,9
53	114,0	68,1	190,0	0	50	270	0	0	330	100	372,9
54	4,3	33,2	100,0	33,0	1700	0	0	0	220	0	172,4
55	157,0	24,7	17,0	26,4	0	0	0	0	340	0	225,4
56	16,5	110,3	164,0	0,1	30	0	0	0	0	0	290,9
57	386,5	177,0	143,0	0	310	0	0	0	400	0	707,2
Воды меловых отложений/Water of Cretaceous sediments											
110	120,0	226,0	72,0	2,2	30	0	100	10	190	0	420,5
111	87,0	57,2	96,0	5,2	0	0	0	10	0	0	245,5
113	85,4	132,0	47,2	3,5	0	0	0	100	0	0	693,0
114	85,1	169,4	8,6	5,8	3800	100	0	100	380	1000	274,3
115	188,0	225,0	12,6	0	0	0	0	0	0	0	539,0

Примечание: 1 – Кенга (Kenga), 2 – Белояровка (Beloaravka), 3 – Юдино (Yudino), 4 – Палочка (Palochka), 31 – Бакчар (Bakchar), 36 – Гореловка (Gorelovka), 38 – Чаинск (Chainsk), 40 – Коломинские Гривы (Kolominskies Grivy), 41 – Большая Саровка (Bolshaya Sarovka), 42 – Белый Яр (Beliy Yar), 45 – Карасок (Kargasok), 46 – Старица (Staritsa), 49 – Инкино (Inkino), 50 – Тунгусово (Tungusovo), 51 – Молчаново (Molchanovo), 52 – Малиновка (Malinovka), 53 – Вознесенка (Voznesenka), 54 – Володино (Volo-dino), 55 – Жарковка (Zharkovka), 56 – Подоба (Podoba), 57 – Кривошеино (Krivosheino), 110 – Бакчар (Bakchar), 111 – Бакчар (Bakchar), 113 – Плотниково (Plotnikovo), 114 – Усть-Бакчар (Ust-Bakchar), 115 – Колпашево (Kolpashevo)

Микробиологический состав питьевых подземных вод

Сделан микробиологический анализ 26 проб подземных вод с использованием классических методик, основанных на применении элективных (избирательных) питательных сред [24].

Исследования показали, что микрофлора подземных вод представлена различными физиологическими группами микроорганизмов, осуществляющих деструкцию органических и минеральных веществ: сапрофитами, олиготрофами, нитрифицирующими, сульфатредуцирующими, железooksисляющими, нефтеooksисляющими бактериями (табл. 3).

Наиболее распространенными в подземных водах по способу питания являются гетеротрофные микроорганизмы, т. е. использующие для синтеза своего организма готовые органические вещества (олиготрофы, сапрофиты, нефтеooksисляющие, бензолooksисляющие, толуолоooksисляющие, сульфатовcтанавливающие). Автотрофные микроорганизмы, использующие углерод неорганических соединений, присутствуют единично – железобактерии и денитрифицирующие.

Из гетеротрофных по численности доминируют автохтонные микроорганизмы, психрофильные сапрофиты (рис. 3, а) и олиготрофные бактерии (рис. 3, б). Их численность в сотни раз выше по отношению к другим.

Автохтонные микроорганизмы питаются органическим углеродом (табл. 1), который в исследуемых водах представлен в основном гумусовыми соединениями. Психрофильные сапрофиты развиваются в температурном диапазоне от 0 до 20 °С, что также характерно для наших холодных вод. Олиготрофы развиваются в среде с низкой концентрацией питательных веществ, т. е. с низкой минерализацией и низкой концентрацией органических веществ. Они характеризуют способность микробного сообщества ассимилировать из рассеянного состояния элементы питания.

Гетеротрофные железooksисляющие бактерии присутствуют в большинстве проб, но численность их резко меняется: от нескольких десятков до нескольких тысяч клеток на мл. Более высокое их содержание наблюдается в водах первого водоносного горизонта неоген-четвертичных отложений и снижается с глубиной. Сами по себе эти бактерии не представляют опасности для организма человека, однако продукты их жизнедеятельности канцерогенны. Биогеохимия железобактерий связана с деструкцией железосодержащего органического вещества, которое они используют в качестве источника углерода и энергии [25]. Освобождающееся при этом железо окисляется химически и откладывается в виде гидроокиси. Данные отложения накапливаются в колодцах, мелких частных скважинах

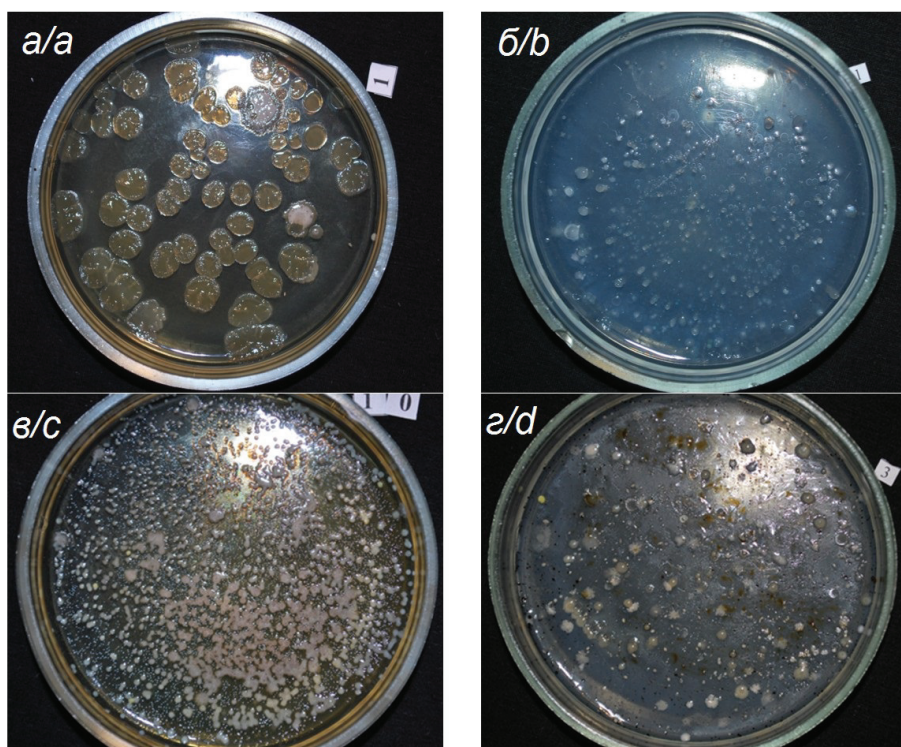


Рис. 3. Фото микроорганизмов питьевых подземных вод децентрализованного пользования, культивированных на твердых питательных средах на чашках Петри: а) психрофильные сапрофиты; б) олиготрофные бактерии; в, г) нефтеooksисляющие бактерии

Fig. 3. Photos of microorganisms of drinking groundwater of the decentralized use, cultivated on nutrient media on Petri's: a) psychrophilic saprophytes; б) oligotrophic bacteria; в, г) oil-oxidizing bacteria

или водопроводных трубах и создают тем самым благоприятные условия для жизнедеятельности бактерий группы кишечных палочек (энтеробактерии), гнилостных и анаэробных бактерий.

Почти во всех пробах воды были автотрофные, образующие охру, железобактерии, для которых процесс окисления железа имеет энергетическое значение. Образующаяся при этом гидроокись откладывается в клеточных стенках бактериальных клеток. Несмотря на повсеместное присутствие, количественное содержание этих бактерий в водах было незначительным – от единичных клеток до нескольких десятков на мл.

В воде большинства проб были обнаружены нефтотолерантные бактерии – от первых сотен до нескольких десятков тысяч (рис. 3, в и г). Эти бактерии выдерживают присутствие различного количества нефтепродуктов в водной среде, используя их в большинстве случаев в процессах соокисления. Это подтверждается величиной потенциальной способности к деградации нефти биоценозами изученных вод. Микрофлора, обладающая высокой нефтеокисляющей способностью, была обнаружена в небольшом количестве проб.

Бактерии, окисляющие бензол, обнаружены в большом количестве в водах горизонта палеогеновых отложений с высокой интенсивностью развития – до 400 условных единиц (при возможном значении 500 условных единиц). В некоторых пробах были встречены толуолокисляющие бактерии. И те и другие считаются достоверными показателями наличия в среде обитания органических веществ нефтяного характера, мигрирующих как из подземного пространства, так и с поверхности. Непременной составляющей бактериоценозов изученных вод были денитрифицирующие бактерии. Количество их менялось от десятков клеток до сотен тысяч и увеличивалось с глубиной. Нитрифицирующие бактерии присутствовали в водах в небольшом количестве в единичных пробах.

Оценка экологического состояния природных вод по количеству отдельных физиологических групп общего состава микроорганизмов широко используется экологами в настоящее время, хотя эти группы не входят в обязательный перечень санитарно-гигиенических показателей, на них не распространяются ГОСТы, нет четких количественных микробиологических критериев для установления бактериального загрязнения подземных вод.

Основными показателями загрязненности вод служат коли-титр и коли-индекс. Коли-титр – это наименьший объем воды в мл, содержащий одну кишечную палочку. Коли-индекс – количество кишечных палочек в 1000 мл воды. По ГОСТу на питьевую воду допускается коли-индекс не более 3, коли-титр не менее 300 [26]. Как показали исследования, в пробах питьевых подземных вод децентрализованного водоснабжения области кишечная палочка не обнаружена. По количеству психрофильных сапрофитов все изученные воды являют-

ся или загрязненными, или грязными, но обладающими способностью к самоочищению [25].

К сожалению, микрофлора определенных нами как техногенно-трансформированные воды неоген-четвертичных отложений не была изучена.

Обсуждение результатов

Таким образом, по химическому составу подземные воды области чаще всего, по нашим данным, не пригодны для питьевого водоснабжения по таким компонентам, как Fe, Mn, Сорг, Si, частично ОЖ, NO_2^- , NH_4^+ , из микрокомпонентов – Ba, редко В и Li. Эти превышения отражают естественный природный фон территории и характерны для всего региона. Исключения составляют техногенно-трансформационные воды неоген-четвертичных отложений, отобранные в колодцах и частных скважинах, отличающиеся повышенным содержанием общей минерализации, за счет Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} (соответственно ОЖ), Na^+ , NO_3^- , и повышенным содержанием некоторых микрокомпонентов: В, Al, V, Sr, Ba. Они представлены всего 4 пробами, что затрудняет их интерпретацию. Более детально такие воды в южных районах области исследованы в работе [20].

Пространственные исследования распространения элементов сложны, поскольку выборка недостаточно представительна с учетом разделения на несколько водоносных горизонтов. Имеющиеся данные четких закономерностей не выявили. Общеизвестно, что Fe, Mn, Сорг, NH_4^+ тяготеют к северным, более болотистым районам. Минерализация, ОЖ и Si, наоборот, – к югу области, где происходит питание трещинно-жильными водами Колывань-Томской складчатой области.

Наиболее показательны результаты исследований по изменению состава вод с глубиной. Как видно из рис. 4, для подземных вод характерна прямая вертикальная зональность, т. е. последовательное увеличение минерализации вод (и, соответственно, изменение химического типа воды) с глубиной. При этом с глубиной увеличивается щелочность вод за счет группы OH^- , выделяемой при гидролизе вмещающих пород. Состав вод меняется с гидрокарбонатного кальциевого в палеоген-четвертичных отложениях до гидрокарбонатного натриевого (содового) в меловых отложениях и далее становится хлоридным натриевым. С глубиной Ca уходит из вод во вторичные отложения (карбонаты и глины), а Na продолжает накапливаться. Si сначала накапливается в водах за счет растворения алюмосиликатных минералов до глубин 200 м, затем также связывается глинами.

В общем случае максимальные содержания Fe, Mn и Сорг в водах (рис. 4) характерны до глубины 200 м, где развита глеевая (Eh от –100 до +50 мВ) и околонеутральная (рН от 6,8 до 7,5) среда. С глубиной, в более восстановительной сероводородной среде (менее –200 мВ), концентрации Fe уменьшаются, так как железо выпадает из раствора в виде труднорастворимых сульфидов либо (при отсут-

ствии источников S) в щелочных условиях – в виде сидерита. К тому же с глубиной уменьшается $C_{орг}$, т. е. расходуется на различные окислительные процессы, что мешает связыванию Fe в растворе посредством образования комплексных соединений. Более детально этот вопрос изучен в работе [14]. Mn также контролируется такими показателями, как pH и Eh, однако является более активным водным мигрантом, чем Fe^{2+} , осаждается на барьерах позже, а значит, область распространения его шире.

Из микрокомпонентов с глубиной увеличиваются концентрации таких элементов, как As, Li, B, Sr (рис. 4). Ba в повышенных концентрациях достаточно равномерно распределен по глубине.

Микрофлора приспосабливается к питательной среде – органическим и неорганическим соединениям. Поэтому с глубиной она себя ведет неоднозначно, поскольку, с одной стороны, минерализация вод увеличивается, с другой стороны, концентрации органических веществ, наоборот, уменьшаются (рис. 4). В целом общее количество бактерий с глубиной хоть и незначительно, но увеличивается (рис. 5). Групповой состав по всему разрезу остается однообразным. Увеличивается количество психрофильных и автохтонных сапрофитов. Количество олиготрофов, приспособленных к бедным питательным условиям, наоборот, уменьшается (рис. 5).

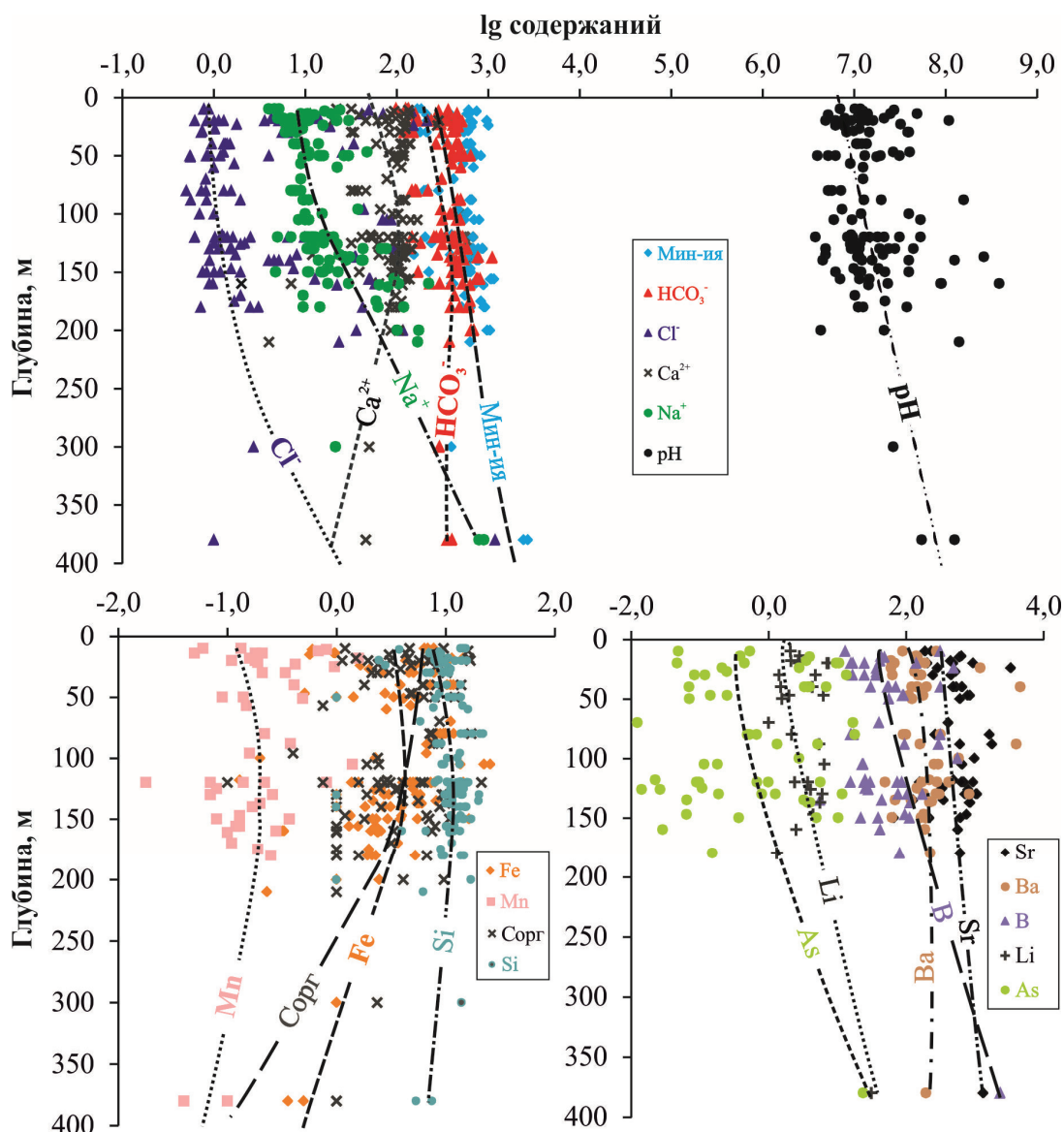


Рис. 4. Изменение химического состава и pH подземных вод с глубиной

Fig. 4. Changing of chemical composition and pH of groundwater by depth

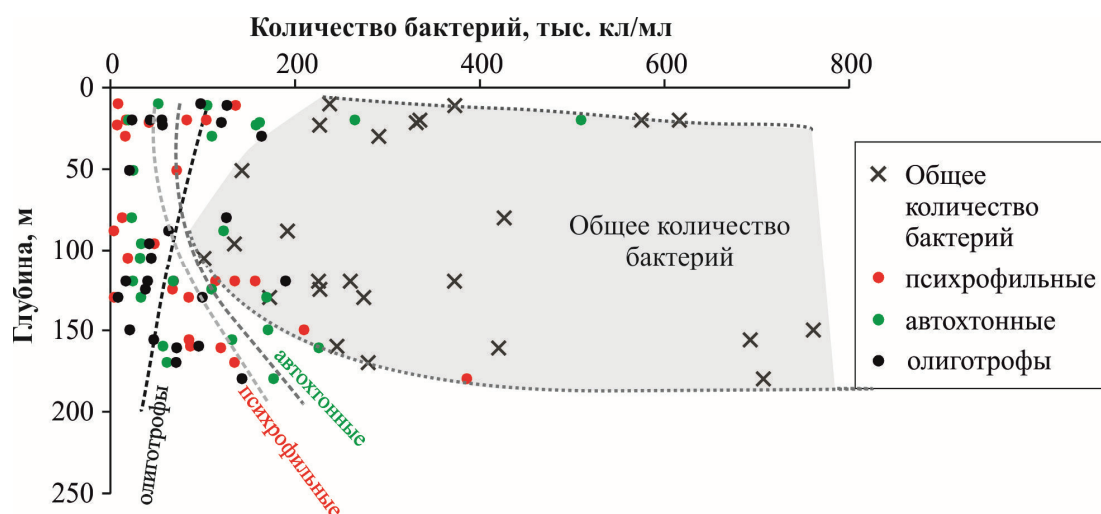


Рис. 5. Изменение микрофлоры вод с глубиной

Fig. 5. Change in microbial flora of groundwater by depth

Выводы

Проведенные исследования показали, что воды некоторых децентрализованных водопунктов южной и центральной частей Томской области являются в эпидемиологическом отношении безопасными (кишечная палочка не обнаружена), в то время как по химическому составу они часто не пригодны для питьевого водоснабжения по таким компонентам, как Fe, Mn, Сорг, Si, частично ОЖ, NO_2^- , NH_4^+ , из микрокомпонентов – Ва, редко В и Li. Данные превышения отражают естественный природный фон территории и характерны для всего региона. Исключение составляют отобранные пробы техногенно-трансформационных вод, незначительное число которых (всего 4) не позволяет делать однозначных выводов.

С глубиной увеличиваются общая минерализация вод, pH, меняется их состав – с гидрокарбонатного кальциевого или кальциево-магниевого на гидрокарбонатный натриевый (содовый), в нижнемеловых отложениях появляются хлоридные натриевые воды. Соответственно, минерализация вод

растет сначала за счет Ca^{2+} (соответственно, растет ОЖ) и HCO_3^- , частично Si, затем за счет Na^+ и Cl^- , концентрации Ca, Si уменьшаются. Из микрокомпонентов с глубиной увеличивается содержание As, Li, B, Sr. Концентрации Fe, Mn, Сорг с глубиной, наоборот, уменьшаются.

Микрофлора приспосабливается к геохимической среде вод, т. е. богатой органикой, но бедной минеральными веществами. Соответственно, основное развитие получили гетеротрофные бактерии, питающиеся готовым органическим веществом. Автотрофные бактерии, использующие углерод неорганических соединений, присутствуют единично и представлены железобактериями и денитрифицирующими, что связано со специфической химической средой вод. Качественные и количественные изменения микрофлоры по разрезу четко не выявлены.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 16-05-00155_а, 16-05-0002-мол_а, 16-35-50103-мол_нр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2014 году: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Томск: АО «Томскгеомониторинг», 2015. – Вып. 11. – 257 с.
2. Гидрогеология СССР. Том XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). – М.: Недра, 1970. – 368 с.
3. Kasimova L.N., Urmazova T.A. Tomsk region drinking water sources, water quality monitoring // Science and Technology. KORUS 2000: Proc. the 4th Korea-Russia International Symposium. – Piscataway, NJ, 2000. – V. 1. – P. 292–296.
4. Савичев О.Г., Камнева О.А. Закономерности пространственных изменений химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 138–143.
5. Ecogeochemical characteristics of underground water of OB-TOM interfluvium (Russia) / E.P. Yankovich, K.S. Yankovich, V.A. L'gotin, G.A. Gul'mina // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015: Conference proceedings. – Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2015. – V. 2 (1). – P. 269–275.
6. Кончакова Н.В. Геохимия и санитарно-гигиеническая типизация подземных вод, используемых в питьевых целях в Томской области и Ханты-Мансийском автономном округе // Вода: химия и экология. – 2012. – № 1. – С. 24–31.
7. Многолетняя изменчивость химического состава подземных вод Томской области / В.А. Льготин, О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин, О.А. Камнева // География и природные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 74–79.
8. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области) / Е.П. Янкович, Н.А. Осипова, В.А. Льготин, О.Д. Лукашевич, К.С. Янкович // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 786–794.

9. Eckstein Y., Savichev O.G., Pasechnik E.Yu. Two decades of trends in ground water chemical composition in The Great Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia // *Environmental Earth Sciences*. – 2015. – № 1. – P. 3–15.
10. Naymushina O.S. Hydrodynamic transformations of the natural hydrogeological system of the Ob-Tom' watershed // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2013. – № 7. – P. 611–614.
11. Naymushina O. Drinking water supply of Tomsk (Western Siberia, Russia): groundwater resources and quality // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014: Conference proceedings. – Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2014. – V. 1. – P. 215–222.
12. Иванова И.С., Лепокурова О.Е., Шварцев С.Л. Железосодержащие воды Томской области // *Разведка и охрана недр*. – 2010. – № 11. – С. 58–62.
13. Geochemistry of Iron in Fresh Groundwater of the Sredneobskoy Basin, Russia / I.S. Ivanova, O.E. Lepokurova, O.S. Pokrovsky, S.L. Shvartsev // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2013. – № 7. – P. 385–388.
14. Iron-containing groundwater in the upper hydrodynamic zone in the central part of West-Siberian artesian basin / I.S. Ivanova, O.E. Lepokurova, O.S. Pokrovsky, S.L. Shvartsev // *Water Resources*. – 2014. – V. 41. – Iss. 5. – P. 163–177.
15. Lepokurova O.E., Ivanova I.S. Geochemistry of iron in organogenic water of Western Siberia, Russia // *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2014. – № 10. – P. 297–302.
16. Иванова И.С., Лепокурова О.Е. Особенности микроэлементного состава подземных вод территории Бакчарского железорудного узла (Томская область) // *Вестник Томского государственного университета*. – 2015. – № 398. – С. 224–232.
17. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Мин-во геол. СССР, ИГО «Новосибирск-геология»; сост.: И.М. Земскова, Ю.К. Смоленцев, М.П. Полканов и др. – М.: Недра, 1991. – 262 с.
18. Ермашова Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 1998. – 44 с.
19. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Минздрав России, 2002. – 103 с.
20. Kolubaeva Yu.V., Kopylova Yu.G., Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of northern part of Kolyvan-Tomsk folded zone (southeast of Western Siberia, Russia) // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015: Conference proceedings. – Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2015. – V. 1 (3). – P. 347–354.
21. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the earth // *Geochemistry International*. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.
22. Ермашова Н.А. Гидрогеохимические особенности и условия формирования пресных подземных вод Обь-Чулымского междуречья // *Вопросы географии Сибири*. – Томск: Изд-во Томского университета, 1979. – С. 95–109.
23. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швецов В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
24. Герхардт Ф., Мюррей Р., Костилоу Р., Нестер Е., Вуд В., Крейг Н., Филлипс Г. Методы общей бактериологии. Том 1 / пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 536 с.
25. Гусев М.В., Минеева Л.А. Общая микробиология. – М.: МГУ, 1973. – 376 с.
26. ГОСТ 18963–73. Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.

Поступила 08.04.2016 г.

Информация об авторах

Лепокурова О.Е., кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией гидрогеохимии и геоэкологии ФГБУН Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Иванова И.С., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории пресноводных и морских экосистем ФГБУН Института экологических проблем Севера УрО РАН; научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Шварцев С.Л., доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии ФГБУН Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Колубаева Ю.В., кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии ФГБУН Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Наливайко Н.Г., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 556.314

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL COMPOSITION OF GROUNDWATERS OF DECENTRALIZED WATER SUPPLY OF SOUTHERN AND CENTRAL DISTRICTS OF TOMSK REGION

Olesya E., Lepokurova^{1,2},
LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Irina S. Ivanova^{2,3},
IvanovaIS_1986@mail.ru

Stepan L. Shvartsev^{1,2},
Tomsk@ipgg.sbras.ru

Yuliya V. Kolubaeva¹,
Kolubaeva@inbox.ru

Nina G. Nalivayko²,
biologistngn@yandex.ru

¹ Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 4, Akademicheskoy avenue, Tomsk, 634055, Russia

² National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail:

³ Institute of Ecological Problems of North of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, embankment of Northern Dvina, Arkhangelsk, 163000, Russia

Relevance of the research is caused by the necessity of assessing the quality of drinking water, consumed by the population, in the conditions of decentralized water supply.

The aim of the research consists in studying chemical and microbiological composition of groundwater which is formed in natural environment.

Methods of research. Chemical and microbiological compositions of water were investigated in the Problem research hydrogeochemical laboratory (TPU), which is registered in the System of analytical laboratories of Gosstandart of Russia. To carry out the full chemical analysis the authors applied the traditional methods. The microbiological analysis was carried out after sampling, as a rule, during the day, while the samples were kept in the cooler bag. To identify the microorganisms the authors used liquid and firm elective nutrient mediums. The trace elements were determined by mass-spectrometer method with inductively coupled plasma (ICP-MS) on the device Elan 6000 (Perkin Elmer) in Geo assets and environment laboratory of Toulouse (CNRS, France).

Results. The data of chemical and microbiological compositions of drinking groundwater of Quaternary, Neogene, Paleogene and Cretaceous sediments shown that water is epidemiologically safe (*Escherichia coli* is not detected), while they are not often suitable for drinking water supply by chemical composition on such components as Fe, Mn, COD, Si, NO_2^- , NH_4^+ , trace elements – Ba, B and Li. Excess of these elements reflects natural background of the territory and they are typical of the whole region. The microbial flora reflects the geochemical environment, rich in organic matter, but poor in mineral substances.

Key words:

Drinking groundwater, decentralized water management, Tomsk region, chemical and microbiological composition, trace elements.

The research was financially supported by the RFBR grants no. 16-05-00155_a, 16-05-0002-мол_a, 16-35-50103-мол_нр.

REFERENCES

1. *Sostoyanie geologicheskoy sredy (nedr) territorii Sibirskogo federalnogo okruga v 2014 godu: informatsionnyy byulleten* [The informational report on the status of subsoil of Siberian Federal district in 2014]. Ed. by V.A. Lgotin. Tomsk, Tomskgeomonitoring Publ., 2015. Iss. 11, 257 p.
2. *Gidrogeologiya SSSR. T. XVI. Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti)* [The USSR Hydrogeology. West Siberian plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Moscow, Nedra Publ., 1970. Vol. XVI, 368 p.
3. Kasimova L.N., Urmazova T.A. Tomsk region drinking water sources water quality monitoring. *Proc. the 4th Korea-Russia International Symposium. Science and Technology. KORUS 2000*. Piscataway, NJ, 2000. Vol. 1, pp. 292–296.
4. Savichev O.G., Kamneva O.A. The patterns of spatial changes in the chemical composition of groundwater of upper hydrodynamic zone in Tomsk region (Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 138–143. In Rus.
5. Yankovich E.P., Yankovich K.S., L'gotin V.A., Gul'mina G.A. Ecogeochemical characteristics of underground water of OB-TOM interfluvium (Russia). *Proc. the 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*. Albena, Bulgaria, STEF92 Technology Ltd., 2015. Vol. 2, pp. 269–275.
6. Konchakova N.V. Geokhimiya i sanitarno-gigienicheskaya tipizatsiya podzemnykh vod, ispolzuemykh v pitevykh tselyakh v

- Tomskoy oblasti i Khanty-Mansiyskom avtonomnom okruge [Geochemistry and sanitary-hygienic typing of groundwater used in drinking purposes in Tomsk region and Khanty-Mansi Autonomous Area]. *Water: chemistry and ecology*, 2012, no. 1, pp. 24–31.
7. Lgotin V.A., Savichev O.G., Makushin Yu.V., Kamneva O.A. Mnogoletnyaya izmenchivost khimicheskogo sostava podzemnykh vod Tomskoy oblasti [Long-term variability of a chemical composition of groundwater of Tomsk region]. *Geography and Natural Resources*, 2012, no. 1, pp. 74–79.
 8. Yankovich E.P., Osipova N.A., Lgotin V.A., Lukashevich O.D., Yankovich K.S. Chemical composition of groundwater as a risk factor for health (by the example of Tomsk region). *Modern problems of science and education*, 2014, no. 3, pp. 786–794. In Rus.
 9. Eckstein Y., Savichev O.G., Pasechnik E.Yu. Two decades of trends in ground water chemical composition in the Great Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia. *Environmental Earth Sciences*, 2015, no. 1, pp. 3–15.
 10. Naymushina O.S. Hydrodynamic transformations of the natural hydrogeological system of the Ob-Tom' watershed. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2013, no. 7, pp. 611–614.
 11. Naymushina O. Drinking water supply of Tomsk (Western Siberia, Russia): groundwater resources and quality. *Proc. the 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014*. Albena, Bulgaria, STEF92 Technology Ltd., 2014. Vol. 1, pp. 215–222.
 12. Ivanova I.S., Lepokurova O.E., Shvartsev S.L. Ferriferous waters of Tomsk region. *Prospect and protection of mineral resources*, 2010, no. 11, pp. 58–62.
 13. Ivanova I.S., Lepokurova O.E., Pokrovsky O.S., Shvartsev S.L. Geochemistry of Iron in Fresh Groundwater of the Sredneobskoy Basin, Russia. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2013, no. 7, pp. 385–388.
 14. Ivanova I.S., Lepokurova O.E., Pokrovsky O.S., Shvartsev S.L. Iron-containing groundwater in the upper hydrodynamic zone in the central part of West-Siberian artesian basin. *Water Resources*, 2014, vol. 41, Iss. 5, pp. 163–177.
 15. Lepokurova O.E., Ivanova I.S. Geochemistry of iron in organogenic water of Western Siberia, Russia. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2014, vol. 10, pp. 297–302.
 16. Ivanova I.S., Lepokurova O.E. Features of trace elements in the groundwater of the Bakchar iron ore deposit (Tomsk Region). *Tomsk State University Journal*, 2015, no. 398, pp. 224–232. In Rus.
 17. *Resursy presnykh i malomineralizovannykh podzemnykh vod yuzhnoy chasti Zapadno-Sibirskogo artzianskogo basseyna* [Freshwater and mineralized underground water resources of the southern part of the West Siberian artesian basin]. Ed. by E.V. Pinneker. Moscow, Nedra Publ., 1991. 262 p.
 18. Ermashova N.A. *Geokhimiya podzemnykh vod zony aktivnogo vodobmena Tomskoy oblasti v svyazi s resheniem voprosov vodonabzheniya i okhrany*. Dis. Kand. nauk [Geochemistry of groundwater zone of active water exchange of Tomsk region in connection with the solution of water supply and protection. Cand. Diss.]. Tomsk, 1998. 44 p.
 19. SanPiN 2.1.4.1074–01. «Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pitevogo vodonabzheniya. Kontrol kachestva: sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy» [SanPiN 2.1.4.1074–01. «Drinking water. Hygienic requirements to water quality of the centralized systems of drinking water supply. Quality control: sanitary and epidemiologic rules and standards»]. Moscow, the Ministry of Health of Russia, 2002. 103 p.
 20. Kolubaeva Yu.V., Kopylova Yu.G., Shvartsev S.L. Hydrogeochemistry of northern part of Kolyvan-Tomsk folded zone (southeast of Western Siberia, Russia). *Proc. the 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015*. Albena, Bulgaria, STEF92 Technology Ltd., 2015. Vol. 1, pp. 347–354.
 21. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 13, pp. 1285–1398.
 22. Ermashova N.A. Gidrogeokhimicheskie osobennosti i usloviya formirovaniya presnykh podzemnykh vod Ob-Chulym'skogo mezhdurechya [Hydrogeochemical features and conditions of formation of fresh groundwater of Ob-Chulym interfluvium]. *Voprosy geografii Sibiri*. Tomsk, Tomsk State University Press, 1979. pp. 95–109.
 23. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod*. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied and environmental aspects]. Moscow, TsentrLitNefteGaz Publ., 2012. 672 p.
 24. Gerhardt Ph., Murray R., Costilow R., Nester Eu., Wood W., Krieg N., Phillips G. *Manual of Methods for General Bacteriology*. Washington, American Society for Microbiology, 1981. 536 p.
 25. Gusev M.V., Mineeva L.A. *Obshchaya mikrobiologiya* [General microbiology]. Moscow, Moscow State University Publ., 1973. 376 p.
 26. GOST 18963–73. «Voda pitevaya. Metody sanitarno-bakteriologicheskogo analiza» [State Standard 18963–73. «Drinking water. Methods of sanitary and bacteriological analysis»]. Moscow, Standartinform Publ., 2008.

Received: 8 April 2016.

Information about the authors

Olesya E., Lepokurova, Cand. Sc., head of Laboratory, Tomsk Branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Irina S. Ivanova, Cand. Sc., senior researcher, Institute of Ecological Problems of North of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; senior researcher, National Research Tomsk Polytechnic University.

Stepan L. Shvartsev, Dr. Sc., chief researcher, Tomsk branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Yuliya V. Kolubaeva, Cand. Sc., researcher, Tomsk branch of the Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Nina G. Nalivayko, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.